



승객의 상해를 해석하기 위해 사용된 차량은 동력차 바로 뒷편에 연결된 동력객차를 대상으로 하였다. 이는 승객이 탑승하고 있는 공간으로는 가장 충돌에 의한 충격을 많이 받는 차량이기 때문이다.

### 2.1 사고 시나리오의 설정

고속전철 충돌안전 연구팀이 선정한 사고 시나리오는 1) 프랑스의 국철(SNCF)이 1988년 건널목에서 110 km/h의 TGV가 80톤의 화물차와 충돌하는 사건을 기초로 시나리오로 삼은 것으로 110kph로 달리는 KHST가 15톤 강제 장애물과 부딪히는 시나리오와 2) 동일 선로 상에 정지해있는 동급의 열차를 충돌하는 사고 시나리오(고정벽 충돌로 변환)와 선로상의 장애물과 충돌하는 것을 사고 시나리오로 고정벽에 30 km/h의 속도로 충돌하는 사고를 그 대상으로 삼았다.

### 2.2 사고 시나리오에서 열차의 특성

Lumped-mass 방법을 이용하여 전차량을 질량과 비선형 스프링으로 모델링하여 해석한 결과<sup>(6)</sup>인 각 차량의 감속도 파형을 이용하여 승객 거동에 사용하였다. 전 차량은 총 20량으로 각각 2량의 동력차와 동력객차 그리고 16량의 객차로 구성되어 있다. SNCF 시나리오에 의한 동력차 및 동력객차의 감속도 파형은 Fig. 1에 나타나 있다. 최대값은 2 - 3g의 크기로 약 0.1초에서 최대값이후 점차 감소하고 있다. 파형의 형태는 그 최대치가 크지 않고 충돌시간이 짧은 관계로 충돌시 심각한 상해는 예상되지 않는다. 고정벽 충돌 시나리오에 의한 동력차 및 동력객차의 감속도 파형은 Fig. 2에 나타나 있다. 최대값은 3.5g의 크기로 시나리오 1보다 크게 나타났다.

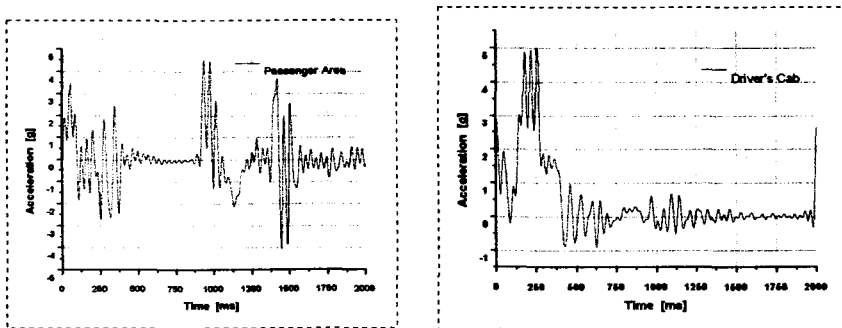


Fig. 1. Driver cab and passenger part acceleration curves under scenario 1

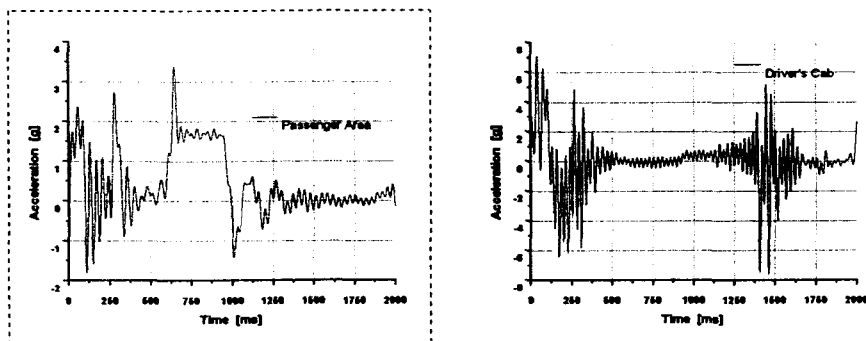


Fig. 2. Driver cab and passenger part acceleration curves under scenario 2

### 3. Sled를 이용한 실험적 안전도 평가

위의 그림 1과 2에서 보는바와 같이 열차 충돌은 전체의 거동시간이 1-2 초의 시간으로 자동차의 0.1초에 비하면 10배에서 20배 가까이 긴 지속시간을 유지하면서 차량이 감속하고 있다. 그러므로 sled를 이용하여 동일한 파형을 유지하면서 실험한다는 것은 불가능하여 아래의 그림과 같은 삼각 파형을 이용하여 열차의 감가속도 파형을 재현하였다. 승객은 열차의 앞좌석과 부딪혀서 상해를 입게 되므로 감가속도의 파형보다는 승객과 열차의 상대속도가 더 영향을 미친다<sup>(1)</sup>.

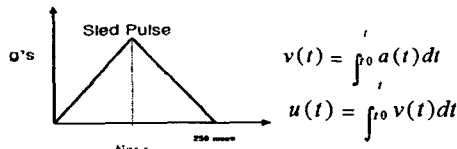


Fig. 3. Idealized sled pulse for KHST accident scenarios

#### 3.1 Sled 충격 시험법

Sled시험법은 아래의 그림과 같이 레일위에 시험대상 구조물을 고압의 Ni가스를 이용하여 발사시키는 장치로 고압과 저압 실린더 사이에 미터링 핀(metering pin)을 장착하여 핀의 형상의 변화로 대상물이 요구되는 감가속도 파형을 얻도록 유도하는 충격장치이다.

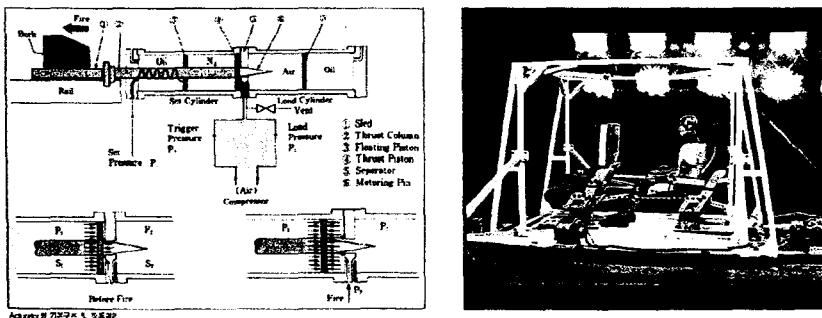


Fig. 4. Operation scheme of sled test system

#### 3.2 열차시트에 대한 Sled Test

실험에서는 고속전철용 1등석 시트를 1열로 실제 고속전철 1등석과 같은 피치(pitch)인 1129 mm로 sled의 바닥에 장착하였다. 시트의 장착은 M10의 4개의 볼트를 이용하여 10N·m의 토크로 체결하였다. 앞 열의 시트에는 인체모형을 탑재하기 않고 뒷좌석에만 인체모형 Hybrid III 50%tile male을 탑재하였다. Sled의 시험조건으로는 1) 승객의 상대속도의 변화 2) 인체모형의 변화를 통하여 승객의 상해치를 구하였다.

#### 3.3 시나리오 1, 2에 대한 Sled Test 결과

Sled 시험은 총 5회에 걸쳐서 실시되었으며 사용된 가속도 파형으로 최대 크기는 1.5g에서 5g의 범위이다. 시험의 조건은 아래의 표에 나타나있다. Sled #1과 #3은 각각 시나리오 1과 2에서 승객거동을 재현한 시험이며 나머지 #2, #4는 보다 가속한 조건으로 시험한 것이며 #5는 시나리오2에서 체구가 작은 여성을 대상으로 조사한 것이다. Sled 시험결과에 대한 승객의 충격상대속도 및 상해치는 아래의 표와 같다.

Table 1 Sled test conditions and results

시험조건 Test #	Sled G's	Impact Speed	Dummy Type	비고	성래치	Sled #1	Sled #2	Sled #3	Sled #4	Sled #5	범위 (기준치)
Sled #1	1.5g	2.2m/sec	Hybrid III 50%ile	시나리오 1	HIC	3.2	58.8	24.3	80.9	26.8	1,000
Sled #2	3.2g	7.0m/sec	Hybrid III 50%ile		Chest(g)	3.8	9.7	4.3	11.8	13.9	60
Sled #3	2.5g	5.2m/sec	Hybrid III 50%ile	시나리오 2	NI	0.12	0.89	0.12	1.02	0.67	1.0
Sled #4	5.2g	8.0m/sec	Hybrid III 50%ile		Femur (N)	1,732	4,312	1,855	4,691	1,608	10,000
Sled #5	2.5g	5.2m/sec	Hybrid III 5%ile	시나리오 2							

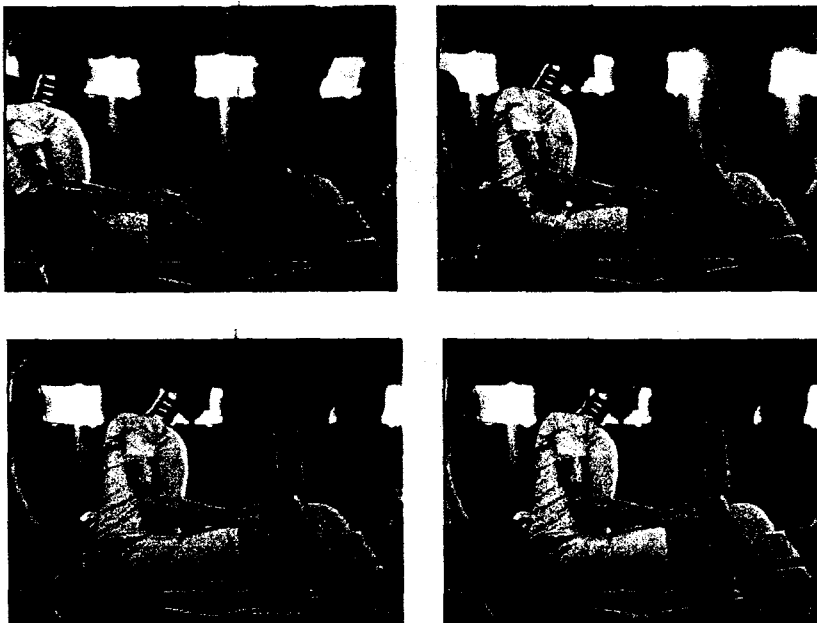


Fig. 5 Dynamic view of occupant behavior in scenario 1

위의 그림은 시나리오1, 즉 110kph의 속도로 15톤 트럭에 부딪히는 사고의 유형에 대한 승객의 거동으로 상대속도가 낮아 무릎이 움직여서 앞좌석의 seat-back 하단부와 부딪히면서 머리는 가볍게 앞좌석을 스치듯 회전하고 있다.

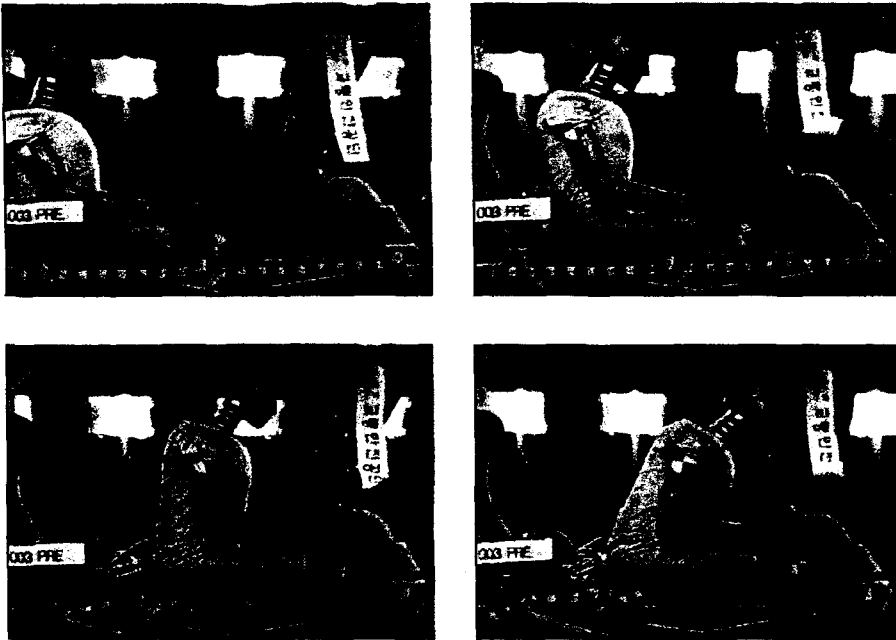


Fig. 6 Dynamic view of occupant behavior in scenario 2

시나리오 2의 경우 그림 7과 같이 무릎은 보다 강하게 부딪히면서 승객의 머리는 앞좌석의 상판과 부딪힌다. 결론적으로, KHST의 시나리오 1과 2에서는 승객이 받는 충격속도가 낮아 승객 안전도는 상해를 입을 가능성은 미미하다.

### 3.3 Sled Test #2, #4, #5의 결과 분석

Sled test #2와 4의 삼각형 가속도 파형의 최고 값이 약 3.2g와 5.2g 이며 상대속도는 7m/sec와 8m/sec의 상대속도를 갖는다. 표1에서 보는바와 같이 HIC, chest g값은 sled #1, #3과 같이 크게 나타나지 않으나 Nij 및 femur하중은 높게 나타난다. 이는 아래의 그림과 같이 상대속도가 7/msec이상이면 앞좌석과 머리가 부딪혀서 목에 심각한 전단과 켓힘을 주기 때문이다. 그리고 sled #5는 체구가 작은 여성의 경우를 대표하는 5%tile female dummy로 실험을 수행한 결과이다. Sled #5의 경우 sled #3와는 달리 목 상해지수인 Nij가 크게 나타남을 알 수 있다.



Fig. 7 Neck shear and extension behaviors at sled #4 and #5

#### 4. 결 론

Sled를 이용하여 한국형 고속전철의 사고 시나리오에서 승객의 안전도에 대한 평가로 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) SNCF의 시나리오인 15톤의 강체 장애물을 110km/h의 속도로 충돌하는 시나리오 1의 경우 객실의 승객에게 미치는 영향은 미미한 것으로 예상된다.
- 2) 고정벽에 30km/h로 충돌하는 시나리오 2의 경우 승객의 상해치는 낮으나 체구가 작은 여성인 경우 목 상해지수  $N_{ij}$ 가 0.67로 높아 상해가 예상된다.
- 3) 30km/h이상의 열차충돌인 경우에는 상해는 성인남자의 경우에도 상당히 치명적이다. 특히 목 상해지수  $N_{ij}$  및 femur 하중이 크게 나타나며 상대속도가 7 m/sec 이상에서는 목 상해가 치명적이다.
- 4) 7m/sec이상에서  $N_{ij}$ 가 높은 이유는 seatback의 회전 저항 강성이 큰 관계로 예측되므로 적절한 시트설계로 이에 대한 고려가 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부의 고속전철기술개발사업의 “고속전철 기반 기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었으며 Sled시험을 수행한 자동차성능시험연구소 관계자에게 감사 드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Tyrell D., Severson K and Marquis B, 1998, Crashworthiness of Passenger Trains - Safety of High-Speed Ground Transportation Systems
- (2) Cleon L.M, 1994, Tolerances a la Collision des Materiels Ferroviaries: Optimisation de la Securite Passive des Structures de Vehicule, World Railway Research Conference
- (3) Scholes A., 1985, Passenger Vehicle Design Loads and Structural Crashworthiness, I Mech E. Conference on Railway Vehicle Body Structure, paper C284
- (4) 구정서, 노규석, 송달호, 2000, “고속전철 충돌안전도 해석 기술 개발”, 한국기계연구원
- (5) 윤영한, 2000, “한국형 고속전철 충돌에서 승객거동에 대한 연구”, 한국기술교육대학교
- (6) 한국기계연구원, 2001. 9, 충돌안전도 해석기술개발(II) 진도 발표